



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Dynamics of coupled quantum systems

Ohanesjan, V.

Citation

Ohanesjan, V. (2024, February 7). *Dynamics of coupled quantum systems*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3716227>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3716227>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

Thermodynamica is één van de fundamentele wetenschappelijke grondslagen die ons heeft geholpen om warmtemotoren, biologie, ecosystemen en zelfs zwarte gaten beter te begrijpen. Hoewel het fundamenteel macroscopische, i.e. grote, systemen beschrijft door het bulkgedrag van hun bestanddelen te onderzoeken, is het verankerd in de statistische gelijkwaardigheid van evenwichtsconfiguraties van een formeel oneindig aantal microscopische bestanddelen. De vraag van zijn geldigheid komt naar boven, wanneer men zich toespitst op kleine kwantumsystemen. In dit proefschrift hebben we dynamische niet-evenwichtsrelaties afgeleid voor zulk soort systemen die verrassend veel lijken op de klassieke wetten van de thermodynamica, met een mix van kwantumkenmerken die de dynamiek van kwantuminformatie coderen. Het begrijpen van de relatie tussen de post-quench-dynamics van kwantumsystemen met een eindige omvang en hun initiële thermodynamische toestand zou vijftien jaar geleden een puur academische exercitie kunnen zijn geweest. Maar dankzij ultrakoude atomaire kwantumsimulators en de vooruitgang op het gebied van kwantumcomputers heeft de thermodynamica van kwantumsystemen van eindige omvang nu ook praktische implicaties. De bevindingen van dit proefschrift dragen bij aan het begrip van kwantum-veeldeeltjessystemen, vooral in de context van verstrengeling, niet-evenwichtsdynamica, thermalisatie en ladingstransport.

Hoofdstuk 2 richt zich op de niet-evenwichtsdynamiek van twee aanvankelijk thermische en onafhankelijke reservoirs van Fermi-gassen die aan elkaar worden gekoppeld en na korte tijd weer worden ontkoppeld. Deze “quenches” leiden tot een energiewinst in beide systemen, ongeacht de aanvankelijke ongelijkheid van de temperatuur, en het werk verricht door de quench is evenredig aan de onderlinge correlaties van de systemen, uitgedrukt in hun Von Neumann-entropieën. Op basis van deze bevinding hebben we in een vervolgartikel aangetoond dat op de tijdschaal van de Fermi-tijd de von Neumann-entropieën sneller groeien dan het thermische transport tussen de systemen. In hetzelfde werk hebben we bewezen dat het tijdsbestek en het temperatuurregime van dit fenomeen experimenteel toegankelijk zijn in ultrakoude atomen, wat een platform biedt voor het meten van kwantumcorrelaties.

Vervolgens hebben we in hoofdstuk 3 de post-quench-dynamiek van twee andere klassen van systemen bestudeerd. Ten eerste hebben we het Sachdev-Ye-Kitaev

(SYK)-model geanalyseerd — een simpel systeem voor sterke kwantumcorrelaties — en bewezen dat dezelfde initiële energietoename optreedt voor elke temperatuur en systeemomvang, maar er is geen thermische flux van het koudere naar het hetere systeem. Door de relatieve entropie konden we aantonen dat de initiële thermische toestand niet onmiddellijk wordt vernietigd, wat een eerdere bewering weerlegde dat een dergelijke quench een systeem door middel van een kouder bad kan verwarmen. Vervolgens bestudeerden we een quench tussen twee Mixed Field Ising (MFI) modellen en toonden aan dat de initiële energietoename alleen voor alle temperaturen optreedt als de systemen zijn afgestemd op het kwantumkritische punt. Voor andere afstellingen ontdekten we een overgangstemperatuur waarboven de energie van de hetere temperaturen afneemt direct na de quench, waardoor onze klassieke intuïtie wordt hersteld. Bovendien hebben we aangetoond dat de energietoename binnen de thermodynamische limiet alleen aanhoudt voor sterk verstrengelde systemen, zoals de SYK of MFI op het kritieke punt, maar afwezig is voor generieke kwantumsystemen. Dit bewijst dat het kwantumgedrag in de eerste momenten niet in tegenspraak is met de klassieke koeling en verdamping op latere tijden.

In hoofdstuk 4 analyseerden we de tijdsevolutie van de energieën en hoe deze zich verhoudt tot de toestand vóór de quench van de systemen. Door de dichtheidsmatrix in een tijdreeks te expanderen, hebben we aangetoond dat wanneer systemen vanuit een thermische toestand beginnen, de vroege tijdsevolutie van de SYK puur wordt bepaald door de thermodynamische toestand. De situatie is ingewikkelder wanneer de onderzochte systemen Mixed Field Isings zijn, waarvan de energie-evolutie ook afhangt van bepaalde correlaties binnen de individuele systemen. Dit leverde een analytische verklaring op van de resultaten gepresenteerd in hoofdstuk 3 en een beter begrip van het optreden van een systeemafhankelijkheid transitietemperatuur, waarboven de energie van de hetere MFI geen toename post-quench meer kent.

Hoofdstuk 5 richt de aandacht op geladen SYK-systemen en onderzoekt de toepasbaarheid van hetzelfde quenchprotocol bij de experimentele detectie van een laboratoriumrealisatie van een SYK. We ontdekten dat de dynamiek van het ontladingsproces van de SYK-quantum dot een onderscheidend kenmerk van de niet-Fermi-vloeistof toestand van SYK onthult. Bij het analyseren van de door de quench geïnduceerde tunnelstroom tussen een geladen SYK en een neutraal reservoir is er bijvoorbeeld een temperatuurafhankelijke bijdrage aan de halfwaardetijd van de stroom, die bij lage temperaturen schaalt als T voor de SYK en als T^2 voor Fermi-vloeistoffen. Dit biedt een experimentele mogelijkheid om een SYK-toestand te onderscheiden van een conventioneel geladen systeem. Bovendien koppelen we dit kenmerk van de SYK-stroom aan de prominente observatie van een lineair in T -weerstand van vreemde metalen, wat overeenkomt met andere gerapporteerde resultaten over de geleidbaarheid in SYK-ketens.